Über die Resistenz (die sogenannte Härte) menschlicher Muskeln.

Inaugural-Dissertation

der

medizinischen Fakultät

der

Kaiser-Wilhelms-Universität Straßburg i. E.

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

R. Springer.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1913.

Gedruckt mit der am 23. 10. 15 erteilten Genehmigung
der medizinischen Fakultät der Universität Strassburg i. E.
Referent: **Prof. Dr. Gildemeister.**
Korreferent: **Prof. Dr. Hofmeister.**

Über die Resistenz (die sogenannte Härte) menschlicher Muskeln.

Inaugural-Dissertation

der

medizinischen Fakultät

der

Kaiser-Wilhelms-Universität Straßburg i. E.

zur

Erlangung der Doktorwürde

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

vorgelegt von

R. Springer.

München.
Druck von R. Oldenbourg.
1913.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548002_0098

Inhaltsübersicht.

Seite

Einleitung. Bisherige Untersuchungen über die sog. Muskelhärte (besser Resistenz genannt). Die bisher angewandten Apparate . 5
Das Elastometer von Gildemeister 7
Spezielle Methodik der vorliegenden Arbeit 8
Versuche:
Der unbelastete Bizeps:
Einfluß des Lebensalters 11
des Geschlechts 11
der Körperseite 11
der Muskellänge 11
der körperlichen und geistigen Ermüdung 12
des Zentralnervensystems 12
der elektrischen Reizung:
a) des Muskels selbst 13
b) der Haut 14
c) des Antagonisten 14
Der belastete Bizeps:
Einfluß der Größe der Belastung 15
des Lebensalters und Geschlechts. 17
der körperlichen Tüchtigkeit 17
der Ermüdung durch den Versuch selbst 18
der körperlichen und geistigen Frische 18
der Plötzlichkeit der Belastung 19
der Temperatur 20
Die Nachwirkung der Belastung 20
Zeigt der Muskel an verschiedenen Stellen Unterschiede der Resistenz? 21
Die Resistenz des Bizeps kranker Personen 22
Absolutes Maß der Resistenz 24
Zusammenfassung 25

Einleitung.

Wenn der Physiologe einen isolierten Muskel untersucht und dabei feststellen will, ob dieser arbeitet, so ist das für ihn sehr leicht. Er braucht zu diesem Zwecke nur auf seine Verkürzung und die Veränderung seiner Dicke zu achten. Wenn wir an einem unversehrten Tier den Zustand eines Muskels beobachten wollen, so ist dieses Verfahren nicht anwendbar. Wie wichtig es aber manchmal ist, auch unter diesen Umständen über den Zustand der Muskeln orientiert zu sein, das zu erläutern, genügt schon ein einfacher Hinweis auf die Narkose, deren Tiefe ja am einfachsten auf diese Weise beurteilt wird. Wir haben uns nun gewöhnt, in solchen Fällen den Zustand der Muskulatur durch Betasten mit unsern Fingern festzustellen, und je nach dem Widerstande, den das Muskelgewebe dem eindrückenden Finger entgegensetzt, nennen wir den Muskel hart oder weich. Es ist nun eine alltägliche Erfahrung, daß der tätige Muskel sich härter anfühlt als der untätige. Jeder Arzt weiß weiter, daß auch der untätige Muskel nicht immer gleich hart ist,

sondern bei geschwächten Individuen sich schlaffer anfühlt; er spricht dann von Veränderungen des Tonus.

Diese Tatsachen sind allgemein bekannt, aber wissenschaftlich untersucht werden sie erst seit kürzerer Zeit. Es war zuerst v. Uexküll[1]), der darauf aufmerksam machte, daß der erwähnten Eigenschaft große Wichtigkeit zukomme; er war es auch, der den Ausdruck »Härte« dafür prägte und ihn in die Physiologie einführte. Kurz darauf hat Noyons[2])[3])[4]) die erste Methode zur Härtebestimmung der Muskulatur angegeben, und beide Forscher haben späterhin gemeinsam[5]) eine Reihe von Messungen an Tier und Mensch vorgenommen. Exner und Tandler[6]) haben sodann zur Messung des Muskeltonus einen Apparat konstruiert, der nach ihren Angaben auch zu diagnostischen Zwecken verwendbar ist.

Zur Messung der Härte des Muskels sind bisher drei Verfahren angewendet worden:

1. Man versucht den tastenden Finger nachzuahmen, indem eine Pelotte in das Gewebe eingedrückt wird und gleichzeitig der Druck und die Tiefe des Eindruckes registriert werden. (Verfahren von Wertheim Salomonson, das v. Uexküll und Noyons[5]) am Tier, Exner und Tandler[6]) mit ihrem etwas modifizierten Apparat am Menschen ausgeübt haben.)

2. Bei dem zweiten Verfahren wird ein Gewicht, das durch die eigene Schwere einsinkt, auf das Gewebe aufgesetzt. Man registriert die Schnelligkeit und die Tiefe des Eindrucks. (Gewichtsklerometer von Noyons[5]).)

---

1) J. v. Uexküll, Die Verdichtung der Muskeln. Zentralbl. f. Physiol., 1908, Bd. 22 S. 33.

2) A. K. M. Noyons, Over den autotonus der spieren. Dissertation. Utrecht 1908.

3) Derselbe, About the determination of hardness in muscles. Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht 1908, 5. Reeks V. 9 p. 369.

4) Derselbe, Über den Autotonus des Muskels. Engelmanns Archiv 1910, S. 319.

5) A. Noyons und J. v. Uexküll, Die Härte der Muskeln. Zeitschrift f. Biol. 1911, Bd. 56 S. 139.

6) A. Exner und J. Tandler, Über die Messung des Muskeltonus und die Bedeutung des Tonus. Mitteil. a. d. Grenzgeb. d. Med. u. Chir. 1909, Bd. 20 S. 458.

3. Das dritte Verfahren beruht darauf, daß ein Hämmerchen gegen das Gewebe fallen gelassen wird. Dieses prallt dann zurück, aber nicht ganz bis zur Ausgangsstellung. Wenn man das Hämmerchen sich selbst überläßt, kommt es nach mehrmaligem Zurückprallen zur Ruhe. Man photographiert nun die Bewegung des Hämmerchens und kann den Bildern entnehmen, wie weit das Hämmerchen zurückprallt und nach wieviel Schlägen es zur Ruhe kommt. Daraus läßt sich die Härte des Muskels ebenfalls erkennen. (Ballistisches Sklerometer von Noyons[1].)

Von den ersten Autoren wurde, wie bereits erwähnt, der Widerstand, den der Muskel dem eindrückenden Finger entgegensetzt, »Härte« genannt. Nach den Untersuchungen von M. Gildemeister[2]) handelt es sich bei dem, was der Finger fühlt, gar nicht um die physikalische »Härte« des Muskels[3]), sondern um seine Elastizität, d. h. einen elastischen Widerstand gegen die Verschiebung der Teilchen, speziell um die Eindringungselastizität. M. Gildemeister hat darauf aufmerksam gemacht, daß die besagten Verfahren nicht geeignet sind, die Elastizität des Muskels zu messen, da bei ihnen eine Reihe von Nebenumständen (elastische Nachwirkung, innere Reibung) mit ins Gewicht fallen, die auf das Resultat von großem Einfluß sein können.

Er hat deshalb ein anderes Verfahren angegeben. Läßt man, ähnlich wie Noyons es tut, ein Hämmerchen auf das Gewebe anprallen, so ist die Zeit, während der es in Berührung mit dem Gewebe bleibt, die Stoßzeit, ein brauchbares Maß der Eindringungselastizität; sie ist desto kürzer, je »härter« uns das Objekt erscheint. Das Verfahren hat das Gute, daß es einen Momentanwert mißt, so daß auch Vorgänge, die sich rasch verändern, mit ihm untersucht werden können. Die Stoßzeit ist

1) a. a. O.

2) M. Gildemeister, Über die sog. Härte tierischer Gewebe und ihre Messung. Diese Zeitschr. 1913, Bd. 63 S. 183.

3) H. Zwaardemaker (Sensorische Härte. [VIII. Internat. Physiol. Kongreß Wien.] Zentralbl. f. Physiol. 1910, Bd. 24 S. 798) definiert die sensorische Härte als die Resultante der Kohäsion, der Antiplastizität und der elastischen Gegenkraft des Muskels.

am besten so meßbar, daß man das Hämmerchen aus Metall macht, auf den Muskel ein Metallplättchen legt und dann Hämmerchen und Plättchen mit elektrischem Element und Meßapparat (Galvanometer) verbindet. Der Stromkreis ist nur so lange geschlossen, wie die Berührung des Hämmerchens mit dem Plättchen dauert. Dauert diese nur kurze Zeit, so wird die Nadel des Galvanometers wenig abgelenkt, bei längerer Berührung aber wird sie einen großen Ausschlag machen. Aus dem Ausschlag läßt sich also die Stoßzeit und daraus die Eindringungselastizität erkennen. Gildemeister nennt diesen Apparat das ballistische Elastometer.

Er schlägt vor, bei tierischen Geweben nicht von »Härte« zu sprechen, sondern von »Resistenz«. Wenn ich im folgenden dennoch in Anlehnung an den populären Sprachgebrauch manchmal den Ausdruck Härte benutze, so tue ich das, um dadurch die Versuche leichter verständlich zu machen.

Ich habe zu meinen Versuchen den menschlichen Bizeps gewählt, weil er bequem zugänglich ist und ein geringes Fettpolster besitzt.

An ihm wurden mit dem erwähnten Apparate die Grundfragen der Resistenz untersucht, nämlich (teils ohne, teils mit Belastung) ihre Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Muskellänge, Belastung, Temperatur, Reizung des Muskels selbst, sensibler Endorgane oder des Antagonisten, und noch mehrere andere. Einzelheiten sind aus den folgenden Kapiteln zu ersehen.

Spezielle Methodik.

Das Prinzip der Elastometermethode ist schon kurz beschrieben worden. Sie erfordert ein Metallhämmerchen, ein ebenes, metallisches Plättchen, das auf den Muskel gelegt wird, ein Element, ein Galvanometer und einen passenden Widerstand. Zu Beginn meiner Versuche benutzte ich als Hammer eine stählerne Kugel von ungefähr 20 g Gewicht, die an einer Stricknadel von 20 cm Länge befestigt war, und als Plättchen ein ganz dünnes Stück Kupferblech. Es erwies sich aber als zweckmäßiger, beide Teile schwerer zu machen; der Hammer

hatte bei den folgenden Versuchen 81,5 g Gewicht, sein Stiel 21 cm Länge, das Trägheitsmoment betrug 40 000 g cm². Die getroffene Platte war rund (1,15 cm Durchmesser, also 1 qcm Fläche) und hatte die Form eines niedrigen Kegels[1]). Ihre ebene Grundfläche wurde mit Kautschukpflastermasse bestrichen und haftete dadurch hinreichend fest auf der Haut.

Die ganze Anordnung ist auf Fig. 1 skizziert. Es ist daraus auch zu ersehen, daß der Hammer *H* in der Ruhelage senkrecht

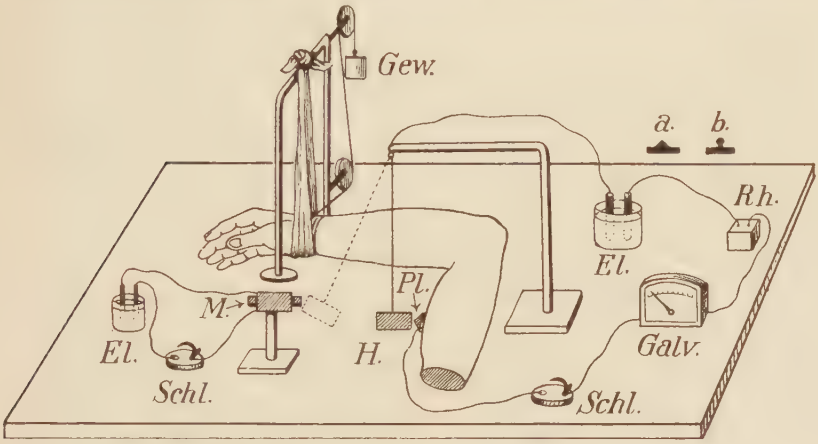

Fig. 1. Untersuchung der Resistenz des menschlichen Bizeps mit dem Gildemeisterschen ballistischen Elastometer. (Zur besseren Übersicht ist der Arm so gezeichnet, als wenn er vom Körper abgetrennt worden wäre.)
H Metallhammer, *Pl* Metallplättchen, *Schl* Schlüssel, *Galv* Galvanometer, *Rh* Rheostat, *El* Element, *Gew* Gewicht, *M* Elektromagnet (um den Hammer vor dem Versuch in der punktiert gezeichneten Stellung zu halten), *Schl* Schlüssel, *El* Element. *a*, *b* die benutzten Metallplättchen im Profil.

herabhängt und die Muskelplatte *Pl* beinahe berührt. Vor einem Versuch wird er um ungefähr 50° abgelenkt und in dieser Lage durch den Elektromagneten *M* festgehalten. Wenn der Strom desselben geöffnet wird, fällt er herunter und schließt den Meßstrom, wodurch das Galvanometer einen Ausschlag macht. Nach dem ersten Anprall schlägt er gewöhnlich noch zum zweiten und dritten Mal gegen den Muskel, wodurch noch weitere Ausschläge

1) Das ist deshalb zweckmäßig, weil sie dann von der ebenen Hammerfläche immer in der Mitte getroffen wird.

entstehen; bei einiger Übung aber wird man dadurch nicht in der Ablesung des ersten gestört. In den ersten Versuchen verhinderte ich den mehrfachen Stromschluß durch einen Öffnungskontakt, der durch ein zweites, von demselben Elektromagneten gehaltenes und also gleichzeitig mit dem Hammer losgelassenes Pendel unmittelbar nach dem ersten Anprall geöffnet wurde; später aber verzichtete ich auf diese unnötige Komplikation.

Als Galvanometer diente ein Milliamperemeter von Siemens & Halske von 10 Ohm Eigenwiderstand, dem noch 120 Ohm vorgeschaltet waren. Unter diesen Umständen entsprach jeder Skalenteil Ablenkung einer Schließungszeit von 0,0006 Sekunden.

Der Hammer, dessen Achse auf Kugellagern lief, war auf einem schmalen 40 cm breiten Brett in einem Gestell aufgehängt. Dieses Brett wurde so auf einen Tisch gelegt, daß eine neben diesem sitzende Versuchsperson gerade ihren Arm mit wagerechtem Oberarm und rechtwinklig gebeugtem Ellbogen auf dasselbe legen konnte und dann die Mitte des Bizeps beinahe von der Hammerfläche berührt wurde. Nun wurde das Handgelenk durch eine an einem besonderen Bügel aufgehängte Tuchschlinge gestützt und unter den Ellbogen ein Kissen geschoben. Man muß für ganz zwanglose Stellung der Versuchsperson Sorge tragen, weil sie sonst ihre Armmuskeln nicht ganz entspannt. Sollte nun der andere Arm untersucht werden, so setzte sich die Versuchsperson an die andere Seite des schmalen Tisches.

Es wurden im allgemeinen nur Personen mit geringem Fettpolster, das ja ohnehin über dem Bizeps nur wenig entwickelt ist, zur Untersuchung herangezogen. Durch eine dicke, weiche Fettschicht hindurch machen sich natürlich Veränderungen des Muskels schlecht geltend.

Versuche.

Der unbelastete Muskel.

Zuerst wurde der unbelastete Muskel von etwa 20 Personen untersucht. Ich fand bei diesem Ausschläge von 105 bis 140 Skalenteilen. Man sieht daraus, daß sich die Schwankungen nur in ziemlich engen Grenzen halten. Wenn man die Ver-

suchspersonen nach dem Alter ordnet, so ergibt sich für die männlichen folgende Tabelle:

Männer. Alter in Jahren	16	19	21	30	32	34	75	82
Resistenz[1]) in Skalenteilen	105	115	115	120	120	115	140	130

Man sieht daraus, daß der Muskel eines sehr jungen Mannes eine größere, der des Greises eine geringere »Härte« besitzt als der des Mannes im mittleren Lebensalter.

Zwischen den beiden Geschlechtern ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede, und der Einfluß des Alters machte sich bei der Frau ebenso geltend wie beim Mann. Nur ist zu berücksichtigen, daß die Frau in mittlerem Alter manchmal ein stärkeres Fettpolster hat, und daß dann ihr Muskel weniger resistent erscheinen kann, als er wirklich ist.

Da der rechte Arm gewöhnlich mehr angestrengt wird als der linke und man deshalb annehmen könnte, daß seine Muskulatur fester sei, habe ich auch beide Körperseiten miteinander verglichen. Es ergaben sich aber (wieder ohne Belastung) keine Unterschiede.

Beispiel: rechts 105, links 105
» 120, » 120.

Einfluß der Länge des unbelasteten Muskels auf seine Resistenz.

Bei den gewöhnlichen Versuchen war das Ellbogengelenk rechtwinklig gebeugt. Nun änderte ich seinen Winkel, so daß der ruhende Muskel eine andere Länge annahm. Die Versuche, bei mir selbst ausgeführt, ergaben folgende Werte:

Winkel: 70°	110 Skalenteile		Winkel: 140°	115 Skalenteile	
» 80°	115	»	» 150°	115	»
» 90°	115	»	» 170°	110	»
» 100°	115	»	» 180°	110	»
» 120°	115	»			

1) Je größer die Anzahl der Skalenteile, desto länger die Stoßzeit, desto geringer also die Resistenz (»Härte«).

Es ergab sich also, daß zwischen 80 und 150° die Länge keinen Einfluß auf die »Härte« hat. Nur wenn der Muskel besonders kurz oder besonders lang (70, 170, 180°) ist, ist er, wahrscheinlich aus mechanischen Gründen, ein wenig resistenter. In einem späteren Kapitel wird noch zur Sprache kommen, daß eine vorhergegangene Bewegung eine Nachwirkung hat. Deshalb muß man, wenn man die Resistenz des Muskels bei seinen verschiedenen Längen prüfen will, kurze Zeit warten, bis sich der Gleichgewichtszustand wieder hergestellt hat.

Einfluß der Ermüdung.

Weiter beschäftigte mich der Vergleich zwischen den Muskeln eines frischen und eines ermüdeten Menschen. Ich verglich bei 4 Versuchspersonen die Härte des unbelasteten Muskels früh morgens vor Beginn der Arbeit und abends ca. eine Stunde nach Aufhören der Arbeit. Die Versuchspersonen waren ein Arbeiter, ein Schmied, ein Bureauschreiber und ein Student. Sämtliche Personen fühlten sich morgens frisch und abends müde. Es ergaben sich folgende Werte:

morgens	115	abends	120
»	110	»	112
»	120	»	125
»	125	»	128.

Der frische Muskel war also stets »härter« als der ermüdete. Die eine Versuchsperson, die morgens 115, abends 120 gezeigt hatte, ließ ich ein erfrischendes Bad nehmen. Sogleich ging die Galvanometerzahl von 120 wieder auf 115 herunter.

Versuche über den Einfluß des Zentralnervensystems auf die Resistenz des Muskels.

Die Beobachtungen wurden an fünf Personen ausgeführt in der Weise, daß ich an sie Fragen richtete oder sie veranlaßte, mit einem Bein eine vorgeschriebene Bewegung zu machen, um ihre Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Punkt abzulenken,

wobei ich sehr achtgab, daß der Oberkörper völlig ruhig blieb. Gefunden wurden folgende Werte:

vorher	115,	während	der Ablenkung	112
»	110,	»	»	108
»	105,	»	»	105
»	120,	»	»	118
»	115,	»	»	115.

Es können also unter diesen Umständen ganz geringe Veränderungen der Resistenz eintreten, die vielleicht in einer größeren Innervation des Muskels ihren Grund haben.

Untersuchungen über den Einfluß der elektrischen Reizung.

Meine Versuche begannen mit Reizung des unbelasteten Muskels mittels eines Induktionsapparates. Ich reizte zunächst mit ganz schwachem, nicht von der Versuchsperson verspürten Induktionsstrom; zweitens mit einem Strom, der zwar gefühlt wurde, aber den Muskel nicht reizte, und drittens mit einem starken Strom, der den Muskel selbst reizte und zur Kontraktion zwang. Bei allen diesen Versuchen benutzte ich als Elektroden zwei mit Handgriffen versehene, in feuchte Tücher gehüllte Metallplatten. Die indifferente größere nahm die Versuchsperson in die Hand, die andere kleinere von ca. 2 cm Durchmesser wurde auf die Haut des Muskels aufgesetzt, aber stets so, daß sie die Tätigkeit des Hämmerchens nicht hinderte.

a) Reizung des Muskels selbst.

1. Reizte ich mit ganz schwachem Strom, so ergab sich keine Veränderung.

2. Reizte ich mit von der Versuchsperson bereits gespürtem Strom, so ließ sich fast immer eine Wirkung des Stromes auf die Resistenz feststellen in dem Sinne, daß dieselbe zunahm.

Beispiele: Ungereizt	115	gereizt	112	Skalenteile
»	120	»	116	»
»	110	»	109	»
»	118	»	118	»
»	114	»	110	»
»	105	»	105	»

Ließ ich den Strom längere Zeit einwirken, so nahm die Wirkung noch etwas zu. Wie die angegebenen Zahlen erkennen lassen, ergaben diese Versuche nicht bei allen Personen ein positives Resultat.

3. Reizte ich mit starkem Strom, so daß sich der Muskel kontrahierte, so wurde die Resistenz wesentlich größer. Nahm die Kontraktion zu, so tat sie dasselbe. Wenn dann mit der Reizung aufgehört wurde, zeigte sich eine Nachwirkung; darüber wird in einem späteren Abschnitt berichtet werden.

b) Reizung anderer Körperstellen.

Eine Zunahme der Resistenz, wenn auch in geringerem Grade, fand sich auch, wenn ich die Elektroden an andere Stellen des Körpers, wie den Unterarm der gleichen und der anderen Seite oder die Unterschenkel anlegte. Ständig zu beobachten war, daß die ersten an der Versuchsperson ausgeführten Versuche deutlichere Resultate gaben als die späteren.

c) Reizung des Antagonisten.

Zum Schlusse prüfte ich noch, ob die Reizung des Antagonisten von Einfluß auf den Zustand des Agonisten ist. Bekanntlich haben Sherrington u. a. in neuerer Zeit derartige Beobachtungen an Tieren gemacht, und zwar haben diese Autoren oft eine Erschlaffung in diesem Falle beobachtet. Diese müßte sich hier als Abnahme der Resistenz, als Vermehrung der Anzahl der abgelesenen Skalenteile geltend machen. Ich reizte den Trizeps an einem seiner Nervenpunkte und untersuchte die Resistenz des Bizeps. Durch Fixierung des Armes wurde erreicht, daß der Arm dabei keinerlei Bewegung machen konnte, und daß auch nicht der Bizeps innerviert zu werden brauchte, um die rechtwinklige Stellung des Ellbogens aufrechtzuerhalten. Es wurden sechs Personen untersucht; als Resultat ergab sich:

Bizeps vor der Reiz. d. Trizeps	Bizeps währ. d. Reiz. d. Trizeps	Bizeps vor der Reiz. d. Trizeps	Bizeps währ. d. Reiz. d. Trizeps
115	120	112	114
120	125	125	122
110	110	105	105

Bei drei Personen wurde also der Muskel nachgiebiger, bei zweien blieb er unverändert, und bei einer vermehrte sich sogar seine Resistenz. Nach meiner Meinung haben aber die ersten Versuche das größere Gewicht, weil ja durch Reizung der Haut nach den Versuchen des vorigen Abschnittes die Resistenz zunimmt. Es streiten hier also zwei Einflüsse gegeneinander, und es wird von Nebenumständen abhängen, welcher überwiegt. Man kann also sagen, daß die Reizung des Trizeps auf den Bizeps eine solche Wirkung ausübt, daß er weicher wird. Dadurch, daß die Haut bei diesen Versuchen mitgereizt werden muß, wird dies Phänomen manchmal verwischt. Auch diese Versuche werden unsicher, wenn sie mehrfach wiederholt werden.

Interessant ist die Nachwirkung nach einer Reizung des Antagonisten. Der Bizeps wurde dann nämlich »härter« als normal. Beispiel:

Bizeps- vor Trizepsreizung: 115, während der Reizung 120, gleich nachher 110; nun $^1/_4$ Minute Pause: 110, während der Reizung 115, gleich nachher 105; nun wieder gereizt: 110.

Sherrington berichtet, daß in einem erschlafften Muskel unmittelbar nach Aufhören der Tätigkeit des Antagonisten eine Kontraktion eintritt, die er sekundäre Induktion nennt. Vielleicht hängen die hier beobachteten Erscheinungen damit zusammen.

Ich machte auch bei diesen Versuchen die Erfahrung, daß die Reize nicht zu stark sein durften.

Über die Resistenz eines unbelasteten Muskels nach einer Belastung und über den Einfluß der Wärme und Kälte wird später berichtet werden.

Versuche über den Einfluß der Belastung.

Jetzt wurde der Muskel gezwungen, Gewichte zu halten. Bei diesen Versuchen ging ich in der Weise vor, daß ich an der Schlinge, in der die Hand der Versuchsperson ruhte, eine Schnur befestigte, diese horizontal über zwei Rollen laufen ließ und wechselnde Gewichte an ihr befestigte, die also bestrebt waren, das Ellenbogengelenk zu strecken. Auch hierbei saß selbst-

verständlich die Versuchsperson möglichst zwanglos auf einem Stuhl neben dem Tisch, und der Arm wurde, bis zur Horizontalen gehoben, auf das Brett gelegt, im Ellenbogengelenk rechtwinklig gebeugt und die Hand in die Schlinge gelegt. Als Vorsichtsmaßregel bei diesen Versuchen war zu beachten, daß die Hand stets in Supinationsstellung sich befand, so daß die Versuchsperson in die Höhlung der Hand sehen konnte. Nur bei dieser Stellung wird der Bizeps voll belastet. Mittels einiger Kreidestriche stellte ich die Lage des Armes auf dem Brett fest und konnte daher auch die kleinste Verschiebung bemerken und dem Arm seine alte Stelle wieder zuweisen. Das Anbringen einer festen aus der Unterlage hervorragenden Marke, wie ich zuerst versucht hatte, empfahl sich nicht, da sie sowohl wegen der verschiedenen Länge der Arme in den Versuchen störte als auch bei der Belastung gern als Stütze von den Versuchspersonen gewählt wurde. Ich belastete mit 1, 2, 5 kg, die also vermittelst der Schnur am Handgelenk angriffen.

Resultate:

Unbelastet	1 kg	2 kg	5 kg
115	99	90	70
105	96	94	80
115	95	88	60
120	118	105	85
110	95	85	65
115	75	70	50
125	105	95	80
130		55	45
140		70	50

Die angegebenen Zahlen sind die Resultate, die ich unmittelbar nach Belastung mit den angegebenen Gewichten erhielt. Sie ergeben, wie zu erwarten, daß die Resistenz des Muskels mit wachsender Belastung zunimmt.

Berücksichtigen wir nunmehr das Lebensalter und das Geschlecht, so ergibt sich ein von dem beim unbelasteten Muskel gefundenen Resultat völlig verschiedenes Bild.

Einige Beispiele:

	unbelastet	1 kg	2 kg	5 kg
Mann 19 Jahre alt	115	95	88	60
21 » »	115	99	90	70
30 » »	120	118	105	85
32 » »	125	105	95	80
75 » »	140		70	50
82 » »	130		55	45

Das Verhalten des unbelasteten Muskels (zweite Spalte) ist schon oben (S. 11) besprochen worden: er wird mit zunehmendem Lebensalter immer weicher. Anders aber bei Belastung. Hier kommen dem mittleren Lebensalter die größten Galvanometerzahlen, dem hohen die kleinsten zu. Bei einem Greise macht also dasselbe Gewicht den (vorher weicheren) Muskel härter als bei einem Manne in mittlerem Alter. Der Grund dafür wird sich sogleich ergeben.

Zwischen Mann und Frau herrscht auch hier kein wesentlicher Unterschied. Die weibliche Muskulatur wird durch dieselbe Last etwas härter.

Wenn man die Versuchspersonen nach ihrer Geübtheit in der Muskelarbeit ordnet, die sich aus ihrem Berufe ergibt, so findet man:

Beruf	unbelastet	2 kg	5 kg
Schreiber	115	70	50
Kräftiger Arbeiter .	115	100	90
Kräftiger Arbeiter .	120	105	98
Schmied	115	90	85
Student.	115	88	60
Student.	115	76	70

Es stellt sich also heraus, daß ein Muskel bei Belastung desto »weicher« bleibt, je geübter er ist. Der Grad der Zunahme der Resistenz ist abhängig von der Mühe, welche die Arbeit der Versuchsperson kostet. Ein 5 kg-Gewicht zu halten, kostet einem Schmied eine geringere Anstrengung als einem Schreiber usw.

Von diesem Standpunkt aus ist auch der Einfluß der Lebensalter verständlich. Ein Mann in mittlerem Alter ist am kräftigsten, dann folgt der Jüngling, und an letzter Stelle steht der Greis. Frauen sind weniger an Muskelarbeit gewöhnt als Männer.

Auch die folgenden Versuche sind nun leicht zu verstehen. Bisher hatte ich nur kurzdauernde Belastungsversuche vorgenommen, jetzt ließ ich das Gewicht längere Zeit den Muskel belasten. Es ergab sich, daß der Muskel dann an »Härte« noch zunahm (Ermüdung), und zwar, wie vorauszusehen war, bei körperlich Ungeübten mehr als bei Geübten. Einige Beispiele:

Beruf	Unbelastet	2 kg	5 kg		
			sofort	15″ später	45″ später
Schreiber	115	70	50	48	40
Arbeiter	120	105	98	97	97[1])
Frau von 30 Jahren .	130	100	70	65	60

Ähnliche Resultate ergab eine Reihe weiterer Versuche. Ebenso zeigte ein Vergleich von rechts und links bei Personen, die gewohnt waren, ihre Arbeiten mit der rechten Hand auszuführen, daß der obige Satz sich auch hier bewährt.

		Unbelastet	5 kg
V.-P. I	Rechts	115	75
	Links	115	60
V.-P. II	Rechts	120	98
	Links	120	85.

Diese letzten Versuche beschäftigen sich mit dem Einfluß der Ermüdung, die *während des Versuches selbst* eintritt. In einer anderen Versuchsreihe studierte ich die Wirkung einer *voraufgegangenen längeren körperlichen und geistigen Anstrengung auf die belastete Muskulatur*. Es ist schon oben erwähnt worden, daß sie den *unbelasteten* Muskel merklich erschlafft.

1) nach 5 Minuten 92, nach 10 Minuten 82.

Bei fünf Personen wurde der unbelastete und der belastete Muskel sowohl vor der Tagesarbeit (morgens) als auch abends nach derselben untersucht. Einige Beispiele:

		morgens	abends
V.-P. I	unbelastet	120	124
	2 kg	115	105
	5 kg	90	73
V.-P. II	unbelastet	110	115
	5 kg	70	62
V.-P. III	unbelastet	110	125
	1 kg	100	75
	2 kg	85	65
	5 kg	65	45.

Ein Bad bei der letzten Versuchsperson bewirkte, daß sich die morgendliche Frische völlig wiederherstellte. Die Zahlen waren nun unbelastet 115, 1 kg 102, 2 kg 85, 5 kg 65.

Also auch hier geht die beim Halten des Gewichtes eintretende Erhärtung der dabei aufgewendeten Mühe parallel.

Wichtig ist es, daß man mit der Messung der Resistenz ein Mittel in der Hand hat, um den erfrischenden Einfluß von therapeutischen Maßnahmen (Bädern, Massage) objektiv festzustellen.

Einfluß der Plötzlichkeit der Belastung.

Um die Frage zu untersuchen, ob Unterschiede zu bemerken sind, wenn man den Muskel einmal plötzlich durch ein großes Gewicht belastet, während man die Belastung das andere Mal langsam steigert, hängte ich einmal an den ausgeruhten Muskel plötzlich ein 5 kg-Gewicht und maß die Resistenz. Dann ließ ich ihn sich ausruhen und steigerte jetzt seine Last allmählich von ½ bis 5 kg. Es ergab sich, daß die Resistenz, wenn 5 kg erreicht sind, im ersten Falle größer ist. Sehr bald aber glichen sich die Unterschiede aus, und zwar so, daß der plötzlich belastete Muskel nur wenig härter wurde, der allmählich belastete aber mehr, so daß bald dieselben Zahlen erreicht waren. Beispiel:

Unbelastet	115
Bei plötzlicher Belastung mit 5 kg . .	55
Bei allmählicher Belastung mit 5 kg . .	65
Nach einiger Zeit in beiden Fällen. . .	53.

Untersuchungen über den Einfluß von Wärme und Kälte.

Die Untersuchungen stellte ich in der Weise an, daß ich den Muskel zuerst unbelastet und belastet maß, sodann einen Eisbeutel auflegte, diesen eine Zeitlang liegen ließ und dann wieder maß. Sodann ließ ich den Muskel sich ausruhen, bis er wieder die normale Körperwärme und die alte Resistenz besaß und legte dann einen Thermophor (Wärmekissen) auf und maß die Resistenz des Muskels wieder nach gewisser Zeit. Die Versuche, die ich an vier Versuchspersonen ausführte, wiederholte ich jedesmal noch einmal. Ein Beispiel:

Muskel bei Körpertemperatur unbelastet 115, 2 kg 85, 5 kg 60; Muskel, nachdem der Eisbeutel 10 Min. aufgelegen hatte, unbelastet 95, 2 kg 65, 5 kg 58; Muskel, nachdem der Thermophor 12 Min. aufgelegen hatte, unbelastet 100, 2 kg 80, 5 kg 60.

Es ergab sich also, daß die Kälte den Muskel wesentlich härter macht; die Wärme hat dieselbe Wirkung, aber in geringerem Grade; dabei ist jedoch zu beachten, daß die Temperaturdifferenz zwischen Thermophor (ca. 45°) und Körper viel kleiner ist als zwischen diesem und dem Eisbeutel. Bei diesen Versuchen, die übrigens mit den Untersuchungen von Noyons übereinstimmen, bleibt immer noch die Frage offen, ob das Härterwerden des Muskels eine direkte Einwirkung der Kälte und Wärme ist, oder ob es indirekt auf reflektorischem Wege durch sensiblen Reiz zustande kommt, da wir oben schon gesehen haben, daß auch sensible Reize den Muskel etwas erhärten können. Immerhin ist gerade die Stärke der »Erhärtung«, die außerdem noch längere Zeit nachwirkte, auffallend.

Untersuchungen über die Nachwirkung der Belastung.

Bisher hatte ich Versuche über den unbelasteten Muskel und über den belasteten Muskel während der Belastung angestellt. Jetzt machte ich einige Versuche über die Resistenz des unbe-

lasteten Muskels unmittelbar nach einer Belastung. Es stellte sich heraus, daß die Rückkehr zum normalen Zustande nicht plötzlich vor sich geht, sondern nach und nach, und daß der Muskel, je müder er ist, desto mehr Zeit dazu braucht, um seine alte Resistenz wieder zu gewinnen. Nach einer größeren Belastung fällt die Resistenz zuerst ziemlich steil, dann aber ganz allmählich ab. Schließlich schießt der Muskel sozusagen über das Ziel hinaus: seine Resistenz wird, besonders wenn er vorher ein sehr schweres Gewicht getragen hat, für eine Weile sogar geringer als normal.

Beispiel: Bizeps unbelastet 115; belastet mit 5 kg 65 bis 56 (im Verlaufe weniger Minuten).

Nach der Entlastung zuerst 110, dann 112, 115, **118, 119.**

Recht lehrreich war ein Versuch, bei dem ich von einem kräftigen Arbeiter 5 kg 10 Min. lang halten ließ, wobei die Resistenz des Muskels, die vorher 118 gezeigt hatte, von 98 bis 83 zunahm. Nach der Abnahme des Gewichts fiel die Härte sofort auf 105, dann 110, 115, 120 und hatte 4 Min. nach Abnahme des Gewichtes 125 erreicht.

Hat die Belastung nur kurze Zeit gedauert, so waren diese Erscheinungen weniger ausgeprägt. Eine Reihe weiterer Versuche bestätigten obige Resultate. Hierhin gehört wohl auch die oft gemachte Beobachtung, daß der Muskel sofort nach dem Hinlegen des Armes auf den Apparat oder nach einer größeren Bewegung eine größere »Härte« zeigte als kurz nachher.

Zeigt der Muskel an verschiedenen Stellen Unterschiede der Resistenz?

Diese Frage ist wichtig für unsere Auffassung vom Wesen der Muskelarbeit, da die (schon mehrfach geäußerte) Annahme naheliegt, daß bei schwacher Belastung nicht sämtliche, sondern nur ein Teil der Muskelfasern in Tätigkeit treten. Die hier angewandte Methode eignet sich offenbar gut zur Untersuchung dieser Frage. Es wurden drei verschiedene Punkte bei Ruhe und bei Belastung miteinander verglichen; der eine lag auf der Höhe

des Bizeps, die beiden anderen proximal und distal davon. Es ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede. Hätten sich solche ergeben, so würde das für die besagte Hypothese gesprochen haben; ein negatives Resultat aber sagt nur, daß bei submaximaler Tätigkeit nicht größere zusammenhängende Muskelpartien in Ruhe bleiben. Es können dann noch immer ruhende und arbeitende Muskelfasern so gleichmäßig miteinander gemischt sein, daß der fallende Hammer immer beide trifft.

Als besondere Vorsichtsmaßregel ist zu beachten, daß der Arm bei diesem Versuche genau seine Lage behält, damit nicht durch Änderung der Lage des Unterarms zum Oberarm die Hebelarme und damit die Belastungen verändert werden. Außerdem dürfen natürlich nicht Stellen miteinander verglichen werden, deren Entfernung von den Endsehnen sehr wesentlich verschieden ist.

Einige Beispiele:

	Unbelastet	1 kg	2 kg	5 kg
1. Distal . .	115	95	80	70
Mitte . .	110	90	80	70
Proximal .	107	90	85	70
2. Distal . .	110	95	85	65
Mitte . .	108	90	85	65
Proximal .	110	95	82	65.

Ein ähnliches Bild ergaben die anderen Versuche. Es fand sich also, daß der Muskel an allen miteinander verglichenen Stellen eine ungefähr gleiche Resistenz besitzt. Die Schwankungen müssen wohl den nicht völlig zu umgehenden Fehlerquellen zugeschrieben werden.

Untersuchungen über den Einfluß von Krankheiten.

Zum Schlusse meiner Versuche untersuchte ich in der medizinischen Poliklinik der Universität eine große Reihe pathologischer Fälle. Für die freundliche Unterstützung sei auch an dieser Stelle Herrn Professor Dr. E. Meyer und den Herren Assistenten Dr. Veil, Dr. Jungmann und Dr. Heymann herzlich

gedankt. Es wurde wieder, wie bisher beschrieben, die Resistenz des unbelasteten und des mit 1 bis 5 kg belasteten Muskels gemessen. Die gefundenen Resultate lassen sich in dem Satz zusammenfassen: Je schwächer die Versuchsperson sich fühlte, desto weicher war ihr unbelasteter Muskel und desto mehr erhärtete er bei der Belastung.

Dabei waren die oben angegebenen Unterschiede, wie sie Geschlecht, Alter und Beruf ergeben, naturgemäß nicht aufgehoben. Die Resultate hintereinander hier aufzuführen, wäre zu weitläufig, da gleichzeitig jeder einzelne Fall genauer beschrieben werden müßte. Als besonders typisch seien nur einzelne Fälle erwähnt. So betrug bei einem kräftigen Mühlenarbeiter, der vor seiner Erkrankung Zentnersäcke mit Leichtigkeit heben konnte, die Resistenz des unbelasteten Bizeps 120, die des mit 2 kg belasteten jedoch 65 (gegenüber 85 bis 95 bei Gesunden). Die Durchschnittszahl für den unbelasteten Muskel war bei Kranken 125 gegenüber 115 bei Gesunden; der Durchschnittswert für 2 kg 70 bis 75 (bei Gesunden 85 bis 95), für 5 kg 55, gegen 65 bei Gesunden. Dabei ist zu beachten, daß es sich bei all den untersuchten Fällen nie um schwer kranke, bettlägerige Patienten handelte, sondern immer noch um solche, die, so schwach und elend sie sich auch fühlten, imstande waren, die Poliklinik aufzusuchen.

Reiches Material hatte ich insbesondere von Magenkranken, und es ergab sich, daß gerade bei ihnen die Resistenz bei Belastung stark zunahm. Einige Beispiele:

	2 kg	5 kg
30 jähr. kräftiger Arbeiter.	65	45
23 jähr. Frau	65	48
27 jähr. Weber . . .	70	60
58 jähr. Maurer . . .	75	60
Normale Zahlen etwa.	85—95	65.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß dies von den Ernährungsstörungen infolge der Magenerkrankungen herrührt.

Besondere Aufmerksamkeit richtete ich auf die Tuberkulosefälle. Exner und Tandler geben in ihrer Arbeit an, daß bei Tuberkulösen der unbelastete Muskel härter als normal sei; sie glauben den vermehrten Tonus sogar zu den Symptomen der Krankheit rechnen zu dürfen. Ich achtete auch jedesmal auf die Ausbreitung der Krankheit und das körperliche Befinden des Patienten. Resultate:

	unbelastet	1 kg	2 kg	5 kg	
Arbeiter, 30 J. . .	120	116	85	72	
Arbeiter, 27 J. . .	110	107	65	50	
Eisenbahner, 30 J.	130	95	85	65	
Maurer, 27 J. . .	115	95	65	55	progr. Tuberkul.
Sattler, 45 J. . .	105	—	75	65	
Arbeiter, 31 J. . .	125	—	70	55	progr. Tuberkul.
Schriftsetzer, 38 J.	120	—	75	55	

Wenn man diese Zahlen mit den früheren vergleicht, so sieht man, daß der unbelastete Muskel dieser Männer im allgemeinen eindrückbarer ist als der von Gesunden. Die Tuberkulösen verhalten sich also nicht anders als andere Kranke. Ebenso nimmt die Härte ihrer Muskeln bei Belastung abnorm zu.

Es kommt der Tuberkulose also keine Sonderstellung zu. Die Ergebnisse der beiden genannten Autoren erklären sich wohl durch die gesteigerte mechanische Erregbarkeit der Muskeln bei dieser Krankheit. Wenn man ein Sklerometer längere Zeit gegen den Muskel preßt, wie Exner und Tandler es bei ihrer Methode machen mußten, so hat man es unter diesen Umständen mit einem tätigen und deshalb anscheinend härteren Muskel zu tun. Bei meiner Momentanmethode sind solche Störungen nicht zu befürchten.

Waren die Patienten nur leicht erkrankt, so daß sie sich nicht eigentlich krank fühlten, so ließen sich keine wesentlichen Abweichungen von den Normalzahlen finden.

Absolutes Maß der Resistenz.

Die in dieser Arbeit angegebenen Zahlen haben natürlich nur relativen Wert. Wenn ein anderer mit derselben Methode

dieselben Objekte untersuchte, aber unter Benutzung eines anderen Hammers, eines anderen Galvanometers usw., so würden seine Zahlen zueinander zwar in demselben Verhältnis stehen, sie hätten aber andere absolute Werte.

Das ist ohne Bedeutung, wenn man immer normale Muskeln zum Vergleich hat, auf welche man seine Befunde beziehen kann. Zweifellos aber wäre es von großem Werte, wenn man ein absolutes Maß für die Resistenz hätte. Dann wären die Befunde verschiedener Untersucher ohne weiteres miteinander vergleichbar.

Aus der Arbeit von M. Gildemeister ist zu ersehen, daß es ein solches Maß gibt, nämlich den Eindringungsmodul. Näheres über die Eichung des Elastometers wird er später mitteilen.

Für die Beurteilung meiner Befunde ist wichtig, daß der Eindringungsmodul, das Maß der »Härte«, umgekehrt proportional dem Quadrate der abgelesenen Galvanometerausschläge ist.[1]) Wenn also z. B. dem unbelasteten Muskel die Zahl 110, dem belasteten die Zahl 55 zukommt, so ist der Muskel im letzteren Falle nicht doppelt, sondern 4 mal so hart.

Wie ich hier nur kurz erwähnen will, nimmt bei gesunden Personen (siehe die Tabelle S. 16) in den Grenzen von 0 bis 5 kg Belastung der reziproke Wert der Resistenz, nach diesem Prinzip beurteilt, nicht proportional der Belastung ab, sondern weniger schnell. Bei alten und durch Krankheiten geschwächten Personen ist es anscheinend anders.

Ob man hier von einem Gesetz sprechen kann, und ob dieser Unterschied diagnostisch nutzbar zu machen ist, müssen weitere Untersuchungen lehren.

Zusammenfassung.

In dieser Arbeit ist die Resistenz (die sog. Härte) des menschlichen Bizeps in ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Variablen nach einer von Gildemeister angegebenen einfachen Methode (mittels des ballistischen Elastometers) gemessen worden. Dieser

1) M. Gildemeister, Über die sog. Härte tierischer Gewebe und ihre Messung. Diese Zeitschrift 1913, Bd. 63 S. 183.

Apparat besteht aus einem kleinen Hammer, der gegen den Muskel klopft. Durch die Elastizität des letzteren wird er wieder zurückgeschleudert; je »härter« uns der Muskel erscheint, desto kürzer ist die Zeit, in welcher Hammer und Muskel miteinander in Berührung sind, die sog. Stoßzeit. Diese wird nach dem Pouillet-schen Verfahren auf elektrischem Wege festgestellt.

Nach dieser Methode ist der unbelastete und der belastete Bizeps unter verschiedenen Umständen gemessen worden (siehe das Inhaltsverzeichnis am Anfang der Arbeit). Von den Befunden seien die wichtigsten genannt:

Der ausgeruhte unbelastete Muskel hat bei gesunden Menschen mittleren Lebensalters immer dieselbe Resistenz, bei Jugendlichen eine größere, bei Greisen eine kleinere. Die Resistenz nimmt zu bei psychischen und körperlichen Reizen; bei Ermüdung und bei Reizung des Antagonisten nimmt sie ab (Erschlaffung des Antagonisten).

Der belastete Muskel hat eine desto größere Resistenz, je größer die Last. Die Steigerung ist desto größer, je geschwächter das Individuum ist (deutlicher Einfluß von Beruf, Lebensalter, Krankheit, körperlicher und geistiger Ermüdung).

Nach jeder Belastung erschlafft der Muskel nicht sofort. Die Nachwirkung dauert desto länger, je größer die Last und je müder der Muskel. Es folgt dann gewöhnlich ein Stadium abnorm starker Erschlaffung.

Wie schon erwähnt, ist der Bizeps kranker Personen, verglichen mit Gesunden, in der Ruhe weicher und bei Belastung resistenter.

Herrn Professor Gildemeister, auf dessen Anregung und unter dessen Leitung ich diese Arbeit ausgeführt habe, spreche ich dafür meinen besten Dank aus.

Lebenslauf.

Verfasser vorstehender Arbeit, René Springer, ist geboren am 21. Juli 1892 in Straßburg i. E. Er besuchte seit 1898 das Lyzeum in Straßburg und bestand Juni 1910 sein Abiturientenexamen. Seit Herbst 1910 widmete er sich an der hiesigen Kaiser-Wilhelms-Universität dem Studium der Medizin. Seine Lehrer waren die Herren Professoren und Doktoren: Bayer, Berg, Braun, Cahn, Chiari, Dietlen, Ehret, Ewald, Fehling, Freund, Fuchs, Gildemeister, Goette, Guleke, Hannig, Hertel, Hofmeister, Jost, Ledderhose, Madelung, Manasse, Meyer, Meyerstein, Mulzer, Rose, Rosenfeld, Salge, Schickele, Schlesinger, Schmiedeberg, Schwalbe, Spiro, v. Tabora, Uhlenhuth, Weidenreich, Wenckebach, Wolff, Wollenberg.